



# Активные потребители электроэнергии: обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей

П.С. Кузьмин<sup>1</sup><sup>1</sup> АО «Техснабэкспорт» (Москва, Россия)

## Аннотация

Технологические изменения, происходящие в России и в мире, оказывают влияние на многие отрасли экономики, в том числе и на электроэнергетическую. Обозначилась тенденция ухода потребителей от централизованного электроснабжения вследствие целого ряда факторов: распространения и удешевления технологий генерации с использованием возобновляемых источников энергии, систем накопления электроэнергии, а также развития систем интеллектуального учета. Распространение цифровых технологий индустрии 4.0 позволяет интегрировать инновационные энергетические технологии воедино.

Целью настоящей работы являлись выявление и верификация эффектов, порождаемых технологиями четвертой промышленной революции в сфере электроэнергетики, и возникающих вследствие этого новых моделей взаимодействия потребителей с энергокомпаниями на рынке электроэнергии.

В начале исследования были определены эффекты от распространения распределенной генерации (в том числе с использованием возобновляемых источников энергии), систем накопления электроэнергии, интеллектуальных систем учета электроэнергии, а также цифровых технологий индустрии 4.0 и обозначено влияние этих технологий на изменение характера взаимодействия потребителей и энергокомпаний.

Далее проведен анализ основных подходов к организации взаимодействия энергокомпаний с новым типом потребителей электроэнергии – активным потребителем, а также определены ключевые эффекты от распространения моделей активного потребителя.

В завершение работы проведено интервьюирование отраслевых экспертов с последующим анкетированием, позволившее оценить перспективы развёртывания моделей активного потребителя.

**Ключевые слова:** интеллектуальные системы учета, энергетический комплекс, цифровизация, распределенная генерация, активный потребитель.

## Для цитирования:

Кузьмин П.С. (2021). Активные потребители электроэнергии: обзор инновационных моделей взаимодействия субъектов электроэнергетики и конечных потребителей. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 12(4): 306–321. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-4-306-321.

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных за счет бюджетных средств по государственному заданию Финуниверситета.

# Prosumers: An overview of innovative models of interaction between subjects of the electric power industry and end consumers

P.S. Kuzmin<sup>1</sup><sup>1</sup> TENEX JSC (Moscow, Russia)

## Abstract

Technological changes taking place in Russia and in the world have an impact on many sectors of the economy, including the electric power industry. There has been a tendency for consumers to withdraw from centralized power supply due to a wide range of factors: the spread and cheapening of generation technologies using renewable energy sources, energy storage systems, as well as the development of smart metering systems. The proliferation of digital technologies of Industry 4.0 allows innovative energy technologies to be integrated together.

The purpose of this work was to identify and verify the effects generated by the technologies of the fourth industrial revolution in the electric power industry, and the resulting new models of interaction between consumers and energy companies in the electricity market.

At the beginning of the study, the effects of the spread of distributed generation (including the use of renewable energy sources), energy storage systems, smart electricity metering systems, as well as digital technologies of industry 4.0 were identified, and the impact of these technologies on changing the nature of consumer interaction and energy companies.

Further, the analysis of the main approaches to organizing the interaction of energy companies with a new type of electricity consumers - an active consumer, is carried out, and the key effects from the spread of active consumer models are determined.

At the end of the work, industry experts were interviewed with subsequent questionnaires, which made it possible to assess the prospects for deploying active consumer models.

**Keywords:** smart metering systems, energy complex, digitalization, distributed generation, prosumer.

## For citation:

Kuzmin P.S. (2021). Prosumers: An overview of innovative models of interaction between subjects of the electric power industry and end consumers. *Strategic Decisions and Risk Management*, 12(4): 306-321. DOI: 10.17747/2618-947X-2021-4-306-321. (In Russ.)

## Acknowledgements

The article was prepared based on the results of research carried out at the expense of budgetary funds under the state assignment of the Financial University.

## Введение

Текущая рыночная модель электроэнергетики России сталкивается с существенными вызовами, такими как рост цен на электроэнергию для конечных потребителей, обусловленный опережающим инфляцией ростом цен как на электроэнергию, так и на мощность на оптовом рынке электрической энергии и мощности (ОРЭМ), рост тарифов на услуги по передаче электроэнергии и сбытовых надбавок, сложность и дороговизна технологического присоединения к электросетям и увеличения мощности, а также увеличение объема перекрестного субсидирования<sup>1</sup>.

В дорожной карте НТИ «Энерджинет» выделяется ряд внутренних проблем российской энергетики, таких как относительно большие расстояния и меньшая плотность нагрузки электросетевого комплекса, высокая стоимость капитала и строительства, низкий коэффициент использования установленной мощности энергосистемы в целом, а также низкая производительность труда<sup>2</sup>.

Помимо вызовов, назревших в существующей рыночной системе, есть ряд технологических изменений, происходящих в России и в мире, в том числе тенденция отказа от централизованного электроснабжения вследствие обширного ряда факторов: распространения энерговыработки при помощи возобновляемых источников энергии, рост спроса на электроэнергию, изменения поведения потребителей [Трачук, Линдер, 2018]. На смену централизованному энергообеспечению приходит децентрализованная (распределенная) генерация, включающая в себя не только генераторы малой мощности, но также программы ценозависимого снижения энергопотребления, интеллектуальные сети и системы накопления энергии [Frankel, Wagner, 2017].

Этому способствуют распространение и удешевление технологий генерации с использованием возобновляемых источников энергии [Цифровой переход..., 2017], технологий систем накопления электроэнергии [Применение систем накопления энергии..., 2019], в том числе с использованием водорода<sup>3</sup>, а также развитие систем интеллектуального учета [Кузьмин, 2021]. Трендом, позволяющим интегрировать инновационные энергетические технологии, новые источники энергии и системы интеллектуального учета, является распространение цифровых технологий индустрии 4.0 [Иванов и др., 2018].

Совокупность этих трендов приводит к трансформации электроэнергетического комплекса России, изменению теку-

щих и появлению абсолютно новых моделей взаимодействия конечных потребителей с энергокомпаниями, таких как интеллектуальные сети [Ховалова, Жолнерчик, 2018], интернет энергии [Налбандян, Ховалова, 2018]<sup>4</sup>, а также модели активных потребителей – просьюмеров, которые больше не хотят находиться в ценопринимательской позиции и стремятся активно участвовать в торговле электроэнергией [Цифровой переход..., 2017; Кузьмин, 2019].

Ряд исследователей делает вывод, что влияние цифровой трансформации электроэнергетики будет наиболее сильным на стороне конечных потребителей электроэнергии [Цифровой переход..., 2017; Ховалова, Жолнерчик, 2018; Хохлов и др., 2018], притом наиболее значительные изменения коснутся конечных потребителей на розничном рынке и, как следствие, территориальные сетевые организации и энерго-сбытовые компании, напрямую взаимодействующие с конечными потребителями.

Вызовы, стоящие перед текущей рыночной электроэнергетикой России, общемировые технологические тренды, а также изменение в моделях поведения конечных потребителей способствуют трансформации рынка электроэнергии в целом и розничного рынка в частности.

Целью настоящей работы является выявление эффектов, порождаемых технологиями четвертой промышленной революции в сфере электроэнергетики, и возникающих вследствие этого новых моделей взаимодействия потребителей с энергокомпаниями на рынке электроэнергии.

## 1. Техничко-экономические особенности ключевых технологий энергетического перехода

Для того чтобы описать перспективные модели взаимодействия потребителей с энергокомпаниями, необходимо более подробно рассмотреть ряд технологий цифровой энергетики, вовлекающих потребителей в активное участие в процессы выработки и потребления электроэнергии. Исследования свидетельствуют о том, что традиционные централизованные энергосистемы будут претерпевать значительные изменения в связи с ростом конкурентоспособности распределенной, децентрализованной генерации относительно централизованных моделей, построенных на ископаемом топливе в качестве первичного энергоресурса

<sup>1</sup> Расходы на электроснабжение малого и среднего бизнеса в России: растущая нагрузка (2021). М.: Центр стратегических разработок. <https://www.csr.ru/upload/iblock/282/am06ifly4c3oq2xz2xsrvzvisr3h184ah.pdf>.

<sup>2</sup> План мероприятий (дорожная карта) «Энерджинет» Национальной технологической инициативы (2016). Национальная технологическая инициатива. [https://nti2035.ru/markets/docs/DK\\_energynet.pdf](https://nti2035.ru/markets/docs/DK_energynet.pdf).

<sup>3</sup> Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива (2019). М.: Инфраструктурный центр EnergyNet. [https://drive.google.com/file/d/1MvV2\\_kv2j4WUOUeoaZ-1M6JObrQDqy75N/view](https://drive.google.com/file/d/1MvV2_kv2j4WUOUeoaZ-1M6JObrQDqy75N/view).

<sup>4</sup> См. также: Активные энергетические комплексы – первый шаг к промышленным микрогридам в России (2020). М.: Инфраструктурный центр EnergyNet. [https://drive.google.com/file/d/1PwNYskwbaES\\_5oE3utFDDOnbucosZ0q/view](https://drive.google.com/file/d/1PwNYskwbaES_5oE3utFDDOnbucosZ0q/view).

[Wegner et al., 2017]<sup>5</sup>. Согласно отчетам Международного энергетического агентства (МЭА), наблюдается значительная динамика удешевления распределенной генерации с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Например, цена ветрогенераторов с 1980 по 2013 год снизилась в 10 раз, в то время как к 2014 году падение цен на фотовольтаику составило 75% относительно цены 2009 года<sup>6</sup>.

### 1.1. Распределенная генерация

Одним из основных трендов трансформации электроэнергетики является распространение распределенной генерации. По данным исследования [Трачук, Линдер, 2018], по всему миру порядка 12,5% промышленных предприятий используют распределенную генерацию (доля таких предприятий в России составляет 6%). При этом в исследовании энергетического центра бизнес-школы «Сколково» [Хохлов и др., 2018] прогнозируется, что среди общего прироста установленной мощности энергосистемы к 2035 году порядка 12 ГВт будет покрываться за счет генераторов с установленной мощностью менее 25 МВт.

К технологиям распределенной генерации могут быть отнесены газотурбинные генераторы, парогазовые и газопоршневые установки малой мощности [Hansen, Bower, 2004], электростанции на основе ВИЭ (в том числе ветряные и солнечные генераторы), установленные у потребителей. Под объектами распределенной генерации могут подразумеваться установки, работающие в когенерационном цикле (в том числе для электро- и теплоснабжения изолированных энергорайонов), а также атомные электростанции малой мощности [Селляхова и др., 2016].

Несмотря на то что на сегодняшний день доля ВИЭ в установленной мощности Единой энергетической системы (ЕЭС) России относительно мала и составляет 1,12%, прогнозируется ее дальнейший рост. Одним из основных драйверов роста распространенности ВИЭ является их удешевление.

Однако в России темпы распространения ВИЭ существенно ниже общемировых. В основном это обусловлено исторически сложившейся структурой энергосистемы, климатическими и географическими особенностями и, как следствие, относительно невысокой стоимостью электроэнергии, потребляемой из централизованной энергосистемы, использующей традиционные источники энергии [Линдер, Трачук, 2017]. На стороне населения развитие ВИЭ замедляется перекрестным субсидированием, обеспечивающим более низкую сто-

имость электроэнергии для населения, покрывая разрыв с себестоимостью за счет промышленных потребителей [Трачук, Линдер, 2017].

Г.Г. Налбандян и С.С. Жолнерчик выделяют в своей работе направления использования распределенной генерации, характерные для российской энергосистемы [Налбандян, Жолнерчик, 2018]. Распределенная генерация может применяться:

- 1) для автономного производства электрической, тепловой энергии (в случае работы в когенерационном цикле), а также холода (в случае тригенерации);
- 2) при параллельной работе с единой энергетической системой для выработки электроэнергии в часы установления высоких пиковых цен в ней и снижения результирующих затрат на электроэнергию;
- 3) в электроснабжении объектов, требующих высокого уровня качества, надежности и бесперебойности электроснабжения, которые не могут быть обеспечены поставками из единой энергосистемы;
- 4) в электроснабжении объектов, имеющих более жесткие требования к экологичности и долям выбросов CO<sub>2</sub>;

Таблица 1  
Сопоставление эффектов, создаваемых распределенной генерацией с участниками рынка электроэнергии и мощности  
Table 1  
Comparison of the effects created by distributed generation with participants in the electricity and capacity market

Направление влияния	Потенциальный эффект от распространения распределенной генерации
Конечные потребители: промышленность, бизнес и домохозяйства	1. Возможность автономного производства электрической, тепловой энергии, а также холода 2. Снижение результирующих затрат на электроэнергию в часы установления высоких пиковых цен в ЕЭС при параллельной работе с ней 3. Повышение уровня качества, надежности и бесперебойности электроснабжения 4. Повышение уровня экологичности и снижение долей выбросов CO <sub>2</sub> 5. Использование альтернативных видов топлива, таких как биогаз, пиролизное масло, попутные газы и т.д. 6. Источник дополнительной маневренности для участия в моделях интеллектуальных сетей и активного потребителя
Генерирующие компании	1. Возможность вводить дополнительные генерирующие мощности меньшими объемами, точнее подстраиваясь под динамику роста энергопотребления 2. Повышение эффективности инвестиций в дополнительные генерирующие мощности
Электросетевые компании	1. Снижение потребности в строительстве дополнительных электросетевых мощностей 2. Снижение потерь в распределительных сетях 3. Снижение количества отключений и аварий в электросетевом комплексе
Организационная структура рынка электроэнергии и мощности	Появление новых моделей взаимодействия потребителей и энергокомпаний, в том числе интеллектуальных сетей и моделей активных потребителей
Государственное управление и органы-регуляторы	Повышение качества и точности принимаемых решений по стратегическому развитию отрасли электроэнергетики

Источник: составлено автором.

<sup>5</sup> См. также: Lazard's levelized cost of energy analysis (2021). <https://www.lazard.com/perspective/levelized-cost-of-energy-levelized-cost-of-storage-and-levelized-cost-of-hydrogen/>.

<sup>6</sup> Perspectives for the energy investment needs for a low-carbon energy system about the IEA (2017). International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/investment-needs-for-a-low-carbon-energy-system>.

5) в проектах, предусматривающих использование альтернативных видов топлива, таких как биогаз, пиролизное масло, попутные газы и т.д.

Еще одним важным эффектом от распространения распределенной генерации является возможность вводить дополнительные генерирующие мощности меньшими объемами, тем самым точнее подстраиваясь под динамику роста энергопотребления и хеджируя риски нерациональных инвестиций [Хохлов и др., 2018]. Помимо этого, распределенная генерация способна снизить потребность в строительстве дополнительных электросетевых мощностей [Трачук, Линдер, 2018].

Также распределенная энергетика сопоставима по своей энергоэффективности (КПД) с крупными электростанциями, но из-за близости к потребителю характеризуется более низким уровнем сетевых потерь при распределении электроэнергии. Кроме снижения потерь в некоторых исследованиях отмечается снижение количества отключений и аварий в электросетевом комплексе [Налбандян, Ховалова, 2018]<sup>7</sup>.

Помимо технологических эффектов распространение распределенной генерации способно оказать влияние на коммерческую структуру рынка и механизмы взаимодействий энергокомпаний с потребителями. Так, распределенная генерация является одним из ключевых элементов интеллектуальных сетей, интегрирующих в себя при помощи цифровых решений генерацию, распределение и потребление электроэнергии и обеспечивающих двунаправленный поток мощности [Хохлов и др., 2018]<sup>8</sup>.

При этом возможность потребителям (в том числе домохозяйствам) продавать излишки электроэнергии, произведенной на собственной генерации как на традиционных видах топлива, так и с использованием ВИЭ, способна вовлечь их в активное участие на рынках электроэнергии, тем самым формируя новый тип потребителя – активного потребителя [Климовец, Зубакин, 2016].

Сопоставление эффектов, создаваемых распространением распределенной генерации с направлениями влияния, представлено в табл. 1.

## 1.2. Системы накопления электроэнергии

Следующим важным трендом является распространение систем накопления электроэнергии (СНЭ).

Основным фактором распространения систем накопления электроэнергии является особенность электроэнергии как товара: объем производства электроэнергии должен равняться объему потребления в каждый момент времени. Вследствие того, что суточный график потребления неравномерный и имеет выраженные пики потребления, в энергосистеме должны содержаться резервные мощности, способные покрывать эти пики<sup>9</sup>.

Системы накопления являются технологическим решением, органично дополняющим технологии распределен-

ной генерации на основе ВИЭ. Стохастический характер генерации на ВИЭ, обусловленный зависимостью от погодных условий, может быть дополнен системами накопления, которые будут сглаживать неравномерность выработки. СНЭ при этом будут выступать в роли накопителей, когда выработка электроэнергии превышает потребность энергосистемы, и в роли источника, когда энерговыработки будет недостаточно<sup>10</sup>.

Долгое время такие системы всерьез не рассматривались вследствие слабых экономических показателей, однако постепенное промышленное освоение и снижение их стоимости позволяет рассмотреть вопрос о внедрении СНЭ и создании новых сетевых и системных услуг<sup>11</sup>.

Быстрый рост спроса на СНЭ обусловлен снижением цен на Li-ion накопители, а также трендом на развитие распределенной генерации, в том числе прогнозируемым снижением стоимости солнечной и ветряной генерации [Применение систем накопления энергии..., 2019]. Дополнительным стимулом является распространение электротранспорта, который, будучи подключенным к сети, может выступать в роли накопителя и участвовать в механизмах по управлению спросом и моделях активного потребителя<sup>12</sup>.

Министерство энергетики в «Концепции по накопителям» предполагает, что СНЭ могут применяться в качестве:

- 1) автономного источника энергии, позволяющего обеспечивать энергоснабжение объекта длительное время без подключения к единой энергосистеме;
- 2) источника энергии при авариях, частично или полностью обеспечивающего электроэнергией на период ремонта основного источника поставки электроэнергии;
- 3) способа управления графиком энергопотребления – управления потребляемой мощностью за счет отдачи или накопления электроэнергии в различные периоды времени;
- 4) регулятора параметров системы – способа управления режимом работы электрической системы, удержания частоты и напряжения в необходимых интервалах, а также способа снижения потерь электроэнергии в сетях<sup>13</sup>.

В [Применение систем накопления энергии..., 2019] расширяется перечень возможностей систем накопления. Кроме того, авторами предложена группировка способов применения СНЭ на четыре категории.

1. Системные накопители – СНЭ относительно большой мощности, применяемые в рамках ЕЭС России, подсоединенные к магистральным сетям или сетям высокого напряжения, с возможностью выдачи мощности в сеть или ее накопления, могут:

- участвовать на рынке системных услуг, а именно в первичном и вторичном регулировании частоты;
- оптимизировать загрузку сечений магистральных ЛЭП путем сглаживания пиков, а также участвовать в обеспечении статической и динамической устойчивости;

<sup>7</sup> См. также: Distribution automation. Results from the Smart Grid investment grant program (2016). U. S. Department of Energy. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/Distribution%20Automation%20Summary%20Report\\_09-29-16.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/11/f34/Distribution%20Automation%20Summary%20Report_09-29-16.pdf).

<sup>8</sup> См. также: Smart Grid 101 (s.a.). Berkeley Lab. Electricity Markets and Policy Group. <https://emp.lbl.gov/sites/default/files/chapter1-3.pdf>.

<sup>9</sup> Батраков А., Шапошников Д. (2017). Как технологии накопления энергии изменят мир. РБК, 008 (2505). <https://www.rbc.ru/newspaper/2017/01/19/587e404e9a7947208a047c9d>.

<sup>10</sup> Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации. <https://minenergo.gov.ru/node/9013>.

<sup>11</sup> Energy storage for grid and ancillary services (2016). Navigant Research. <https://www.navigantresearch.com/research/energy-storage-for-the-grid-and-ancillary-services>.

<sup>12</sup> The impact of electric vehicles on the grid: Customer adoption, grid load and outlook (2016). Wood Mackenzie. <https://www.woodmac.com/reports/power-markets-the-impact-of-electric-vehicles-on-the-grid-customer-adoption-grid-load-and-outlook-58120591>.

<sup>13</sup> Концепция развития рынка систем хранения электроэнергии в Российской Федерации. <https://minenergo.gov.ru/node/9013>.

- служить интеграторами ВИЭ. Для систем и энергообъединений с большим объемом генерации на возобновляемых источниках СНЭ могут сглаживать стохастический характер выработки на ВИЭ и обеспечивать необходимое качество выдаваемой электроэнергии в сеть.

Эти черты делают системные СНЭ схожими с пиковыми генераторами, соответственно, экономическая эффективность таких СНЭ будет определяться возможностью конкурировать с ними. И несмотря на то что СНЭ имеют ограничения по времени выдачи накопленной энергии, они обладают рядом преимуществ, в том числе высокой скоростью выдачи мощности (или накопления).

2. СНЭ, применяемые на уровне распределительных сетей, в дополнение к вышеперечисленному способны:

- разгружать центры питания распределительных сетей;
- повышать надежность электроснабжения, работая в качестве резервного источника питания при авариях в сетях более высокого напряжения или иных прерываниях энергоснабжения;
- повышать качество электроэнергии, стабилизировать напряжение и частоту.

3. Системы накопления, находящиеся «за счетчиком» у потребителя, обладают еще большим спектром возможностей – они могут:

- применяться в качестве источника бесперебойного питания у потребителя при авариях в сетях;
- для чувствительного к качеству электроэнергии оборудования или оборудования, предполагающего непрерывность процесса, обеспечить требуемый уровень качества и бесперебойности;
- снизить затраты на технологическое присоединение к сетям, покрывая разность между базовой и пиковой нагрузками;
- при наличии собственной распределенной генерации (в том числе с использованием ВИЭ) способны оптимизировать режим работы генерирующего оборудования, тем самым повышая его КПД и продлевая срок полезного использования, а также снизить сальдо перетоков с сетями ЕЭС.

4. Гибридный генератор – СНЭ, расположенные в границах балансовой принадлежности электростанции. При помощи такого накопителя можно повысить операционную эффективность, а также точность следования установками, расположенными на электростанции, графика нагрузки.

При этом применение СНЭ в качестве гибридного генератора будет несколько различным для четырех групп электростанций:

- СНЭ в составе крупного генератора единой энергосистемы;
- СНЭ в составе небольшой или локальной станции;
- СНЭ в связке с генератором с высокой долей затрат на топливную составляющую;

- СНЭ в составе генераторов на основе возобновляемых источников энергии.

В отчете консалтинговой компании VYGON Consulting отмечается, что наибольшая эффективность применения СНЭ достигается при их использовании в различных рыночных сегментах одновременно. При применении СНЭ в различных коммерческих моделях одновременно, например для обеспечения системных услуг и сглаживания пиковых нагрузок, накопителя могут иметь приемлемый срок окупаемости уже сегодня<sup>14</sup>.

Так же, как в случае с распределенной генерацией, СНЭ являются дополнительным источником гибкости для участия конечных потребителей в проектах по управлению спросом, а также могут стать одной из ключевых технологий для построения интеллектуальных сетей, микрогридов и вовлечения пользователей в модели активного потребителя [Налбандян, Ховалова, 2018; Применение систем накопления энергии..., 2019].

Сопоставление эффектов, создаваемых распространением систем накопления электроэнергии с направлениями влияния, представлены в табл. 2.

Таблица 2  
Сопоставление эффектов, создаваемых СНЭ  
с участниками рынка электроэнергии и мощности  
Table 2  
Comparison of the effects created by the SNE with the participants  
in the electricity and capacity market

Направление влияния	Потенциальный эффект от распространения систем накопления
Конечные потребители: промышленность, бизнес и домохозяйства	1. Применение в качестве источника бесперебойного питания у потребителя при авариях в сетях 2. Обеспечение требуемого уровня качества и бесперебойности энергоснабжения для чувствительного к качеству электроэнергии оборудования или оборудования, предполагающего непрерывность технологического процесса 3. Снижение затрат на технологическое присоединение к сетям путем покрытия разности между базовой и пиковой нагрузками 4. Снижение результирующих затрат на электроэнергию в часы установления высоких пиковых цен в ЕЭС при параллельной работе с ней 5. Источник дополнительной маневренности для участия в моделях интеллектуальных сетей и активного потребителя
Генерирующие компании	1. Повышение операционной эффективности, а также точность следования установками электростанции графика нагрузки 2. Участие на рынке системных услуг
Электросетевые компании	1. Оптимизация загрузки сечений магистральных ЛЭП путем сглаживания пиков 2. Участие в обеспечении статической и динамической устойчивости 3. Разгрузка центров питания распределительных сетей 4. Повышение надежности электроснабжения 5. Повышение качества электроэнергии, стабилизация напряжения и частоты
Организационная структура рынка электроэнергии и мощности	Появление новых моделей взаимодействия потребителей и энергокомпаний, в том числе интеллектуальных сетей и моделей активных потребителей

Источник: составлено автором.

<sup>14</sup> Накопители энергии в России: инъекция устойчивого развития (2020). VYGON Consulting. [https://vygon.consulting/upload/iblock/e44/vygon\\_consulting\\_storage.pdf](https://vygon.consulting/upload/iblock/e44/vygon_consulting_storage.pdf)

### 1.3. Интеллектуальные системы учета электроэнергии

Исследования показывают, что одними из основных технологий цифрового перехода в электроэнергетической отрасли являются технологии интеллектуальных систем учета электроэнергии (ИСУ) [Ховалова, Жолнерчик, 2018]. Такие системы основываются на счетчиках электроэнергии, снабженных модулями сбора, обработки, хранения, отправки и получения данных.

В отличие от традиционных счетчиков электроэнергии системы интеллектуального учета обладают большим спектром функций, это:

- мониторинг объема потребления в режиме реального времени;
- возможность агрегации данных различных счетчиков в единую базу данных;
- хранение статистических данных по электрическим характеристикам;
- получение информации по перетокам электроэнергии и достоверное определение уровня технологических и коммерческих потерь в электросетях;
- выявление безучетного энергопотребления и фактов воздействия на счетчики;
- формирование энергосберегающих стратегий и оценка их реализации;
- дистанционное ограничение энергопотребления.

Однако, несмотря на существующий обширный функционал интеллектуальных систем учета, еще большими возможностями обладают ИСУ, построенные на основе технологии неинтрузивного мониторинга нагрузки (Non-Intrusive Load Monitoring, NILM). NILM – это метод анализа данных об общей электрической нагрузке, полученных путем измерения силы тока и напряжения в одной точке с последующим разделением общей нагрузки на нагрузки отдельных устройств [Кузьмин, 2019].

Исследователи отмечают, что технология неинтрузивного мониторинга нагрузки может сыграть ключевую роль в цифровом переходе в электроэнергетике [Zoha et al., 2012]. Она способна не только улучшить текущую операционную деятельность компаний электроэнергетики, но и лечь в основу формирования новых отношений между субъектами энергорынков [Bergman et al., 2011; Lin, Wang, 2011].

ИСУ, основанные на неинтрузивном мониторинге нагрузки, обладают двумя ключевыми отличиями, обуславливающими специфику их применения:

- неинтрузивность – счетчик такой ИСУ измеряет ток и напряжение в одном месте распределительной электросети здания и не требует прямого встраивания в сеть, при этом обеспечивая точность измерения, не уступающую традиционным счетчикам (в том числе счетчикам, оснащенным Wi-Fi и GSM-модулями);
- дезагрегация данных – в настоящий момент, если необходимо выделить профили энергопотребления для каждого устройства, расположенного в помещении, на входе в каждое устройство устанавливается счетчик прямого включения. Счетчик NILM, используя облачные технологии и специальные методы машинного обучения, разбивает интегральные данные о потреблении энергии, собранные в одной точке сети, на профили потребления каждого устройства. Так как затраты

на установку счетчиков прямого включения прямо пропорциональны их количеству, использование сенсоров NILM способствует существенной экономии [Naghbi, Deilami, 2014]. Данный эффект еще сильнее ощущается при оснащении счетчиками крупной коммерческой недвижимости, а также на производствах, использующих большое количество оборудования.

Основываясь на своих технологических особенностях, ИСУ способны найти применение во множестве направлений:

- дезагрегация суммарного энергопотребления и визуализация: при помощи сенсоров NILM потребители способны выделять энергопотребление каждого прибора. Результат дезагрегации в виде интерактивной инфографики отображается в мобильном приложении или в пользовательской онлайн-платформе. Количество полезных данных может быть значительно увеличено путем установки нескольких сенсоров (например, возможно разделить энергопотребление между этажами в многоэтажном здании или собрать информацию по загруженности производственного оборудования в различных помещениях крупного предприятия);
- выявление ненормативных режимов работы устройств и превентивный мониторинг поломок: так как сенсоры собирают данные в режиме реального времени, система запоминает паттерны поведения приборов. При помощи методов нейросетевого анализа система распознает изменения в режиме работы устройства и оперативно направляет пользователю уведомление о выявленном нарушении;
- разделение счета на покупку электроэнергии: при помощи функции поприборного разделения энергопотребления можно соответствующим образом разбить счет об оплате. При дифференцированной стоимости электроэнергии по зонам суток можно сформировать отчет о затратах на работу прибора в заданный промежуток времени. Таким образом, открывается возможность оптимизировать режим работы устройств, выработать график оптимального энергопотребления и снизить расходы на покупку электроэнергии;
- встраиваемость в сторонние решения: поприборное разделение нагрузки – одна из важнейших технологических особенностей NILM. Это решение может быть встроено и в традиционные приборы учета прямого включения;
- отправка оповещений и уведомлений: с использованием мобильного приложения или пользовательской онлайн-платформы система NILM способна направлять пользователю уведомления о нарушении режимов работы устройств или при превышении заданных пользователем отметок (например, если время работы плиты превысит установленное или при превышении заданной планки энергопотребления).

Внедрение интеллектуальных систем учета электроэнергии (в том числе на основе технологии NILM) порождает широкий спектр эффектов как для конечных потребителей, так и для компаний электроэнергетической отрасли [Ховалова, Жолнерчик, 2018; Кузьмин, 2019]. Сопоставление эффектов, создаваемых ИСУ с участниками рынка электроэнергии и мощности, представлены в табл. 3.

## 1.4. Цифровые технологии индустрии 4.0

Цифровые технологии индустрии 4.0 призваны стать информационным базисом и связующим звеном описанных выше технологий. Среди основных технологий можно выделить:

- цифровые двойники. В рамках развития онлайн- и офлайн-систем поддержки принятия решений цифровые двойники позволяют создавать математические модели генерирующего оборудования, сетей, объектов, процессов и т.д., что в будущем может повысить операционную эффективность энергокомпаний<sup>15</sup>;
- промышленный интернет вещей. Позволяет собирать данные от удаленных объектов и устройств сети. Интернет вещей призван обеспечить межмашинное взаимодействие, обмен информационными и управляющими сигналами между оборудованием локальной энергетической системы [Архитектура..., 2021];
- большие данные (Big Data). Большие данные, полученные от интеллектуальных элементов сети (в первую очередь от ИСУ), и их последующая обработка позволят повысить эффективность деятельности промышленных предприятий, улучшить качество прогнозирования и принятия решений в перспективе, а также коммерциализировать собранные данные посредством их непосредственной продажи [Кузьмин, 2019];
- машинное обучение (Machine Learning). Позволяет автоматизированно обрабатывать большие данные, а также повышает оптимальность принятия решений по оперативной и перспективной деятельности<sup>16</sup>;
- распределенные реестры (блокчейн). Технологии блокчейна и Smart-контрактов позволяют исключить посредников в цепочке реализации электроэнергии до конечного потребителя и совершить переход на автоматизированные Smart-контракты, что является одним из базисных элементов таких моделей активного потребителя, как интернет энергии [Архитектура..., 2021].

В исследовании [Harnessing..., 2021] делается вывод, что технологии искусственного интеллекта способны существенно ускорить цифровую трансформацию энергетики путем выявления закономерностей и анализа данных, координации энергосистем с растущей долей возобновляемых источников энергии, управления сложными децентрализованными энергетическими системами с использованием распределенной выработки электроэнергии, распределенного хранения и расширенных возможностей реагирования на спрос.

Ввиду распространения интеллектуального учета, систем накопления электроэнергии, цифровых технологий, обеспечивающих двусторонний транзит информации, будет повышена управляемость нагрузкой, что в совокупности с распространением распределен-

Таблица 3  
Сопоставление эффектов, создаваемых ИСУ с участниками рынка электроэнергии и мощности  
Table 3  
Comparison of the effects created by the Smart meters with the participants in the electricity and capacity market

Участник рынка электроэнергии и мощности	Эффект от внедрения интеллектуальной системы учета электроэнергии
Домохозяйства	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разделение счета на электроэнергию и выявление энергозатратных приборов</li> <li>2. Оптимизация профиля потребления при использовании многоступенчатого тарифа на покупку электроэнергии и, как следствие, снижение затрат</li> <li>3. Превентивный контроль поломок и неисправностей</li> <li>4. Родительский контроль и социальный мониторинг</li> <li>5. Вовлечение в эффективное управление нагрузкой и участие в проектах по управлению спросом</li> </ol>
Производства и крупная коммерческая недвижимость	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разделение счета на электроэнергию и выявление энергозатратных приборов</li> <li>2. Оптимизация профиля потребления при использовании многоступенчатого тарифа на покупку электроэнергии и, как следствие, снижение затрат</li> <li>3. Превентивный контроль поломок и неисправностей</li> <li>4. Разделение энергопотребления по помещениям (особенно актуально для девелоперов недвижимости)</li> <li>5. Контроль за несанкционированным доступом к оборудованию</li> <li>6. Вовлечение в эффективное управление нагрузкой и участие в проектах по управлению спросом</li> </ol>
Управляющие компании и жилищно-коммунальные хозяйства	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение энергоэффективности многоквартирных домов и коммерческой недвижимости</li> <li>2. Выявление незаконного присоединения к электросетям и снижение риска хищения электроэнергии</li> </ol>
Электросетевые организации	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Превентивный контроль поломок и неисправностей</li> <li>2. Повышение скорости и точности формирования энергобалансов</li> <li>3. Повышение эффективности по борьбе с безучетным энергопотреблением</li> <li>4. Снижение объемов технологических и коммерческих потерь в сетях</li> <li>5. Коммерциализация данных, собираемых интеллектуальными системами учета</li> </ol>
Энергосбытовые организации и гарантирующие поставщики	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение эффективности деятельности на оптовом и розничном рынках электроэнергии</li> <li>2. Повышение эффективности участия в проектах по внедрению концепции агрегатора нагрузки</li> <li>3. Коммерциализация данных, собираемых интеллектуальными системами учета</li> </ol>
Государственное управление и органы регуляторы	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность анализа больших данных об энергопотреблении</li> <li>2. Повышение качества и точности принимаемых решений по стратегическому развитию отрасли электроэнергетики</li> </ol>

Источник: составлено автором.

<sup>15</sup> Концепция. Цифровая трансформация 2030 (2018). ПАО «Россети». [https://www.rosseti.ru/investment/Kontsepsiya\\_Tsifrovaya\\_transformatsiya\\_2030.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/Kontsepsiya_Tsifrovaya_transformatsiya_2030.pdf).

<sup>16</sup> Там же.

ной генерации может привести к трансформации пассивного потребителя в активного, то есть способного управлять своим энергопотреблением, а при наличии генерирующего оборудования – выдавать мощность в сеть. Активных потребителей, которые могут не только изменять профиль энергопотребления, но и вырабатывать энергию и продавать ее в сеть, в литературе часто обозначают просьюмерами [Parag, Sovacool, 2016; Brown et al., 2019; Архитектура..., 2021].

В ряде российских исследований в области управления спросом и цифровых технологий в электроэнергетике, таких как [Цифровой переход..., 2017; Управление спросом..., 2019], отмечается, что не только крупные промышленные потребители, хорошо понимающие правила работы оптового рынка и использующие маневренность своего производственного процесса для оптимизации затрат, могут принимать участие в моделях активного потребителя. Их авторы утверждают, что существенный потенциал управления спросом и балансировки энергосистемы сосредоточен у небольших потребителей – субъектов розничного рынка. В зарубежных исследованиях также отмечаются важная роль небольших предприятий и домохозяйств в цифровой трансформации и тенденции к появлению активных потребителей [Brown et al., 2019].

Таким образом, совместное влияние технологий цифрового перехода в электроэнергетике формирует предпосылки для появления нового типа потребителей электроэнергии – активного потребителя, что, в свою очередь, способно трансформировать текущие бизнес-модели энергетических компаний и способствует формированию новых ценностных предложений не только для существующих участников энергорынков, но и для субъектов, ранее не взаимодействовавших с субъектами электроэнергетики.

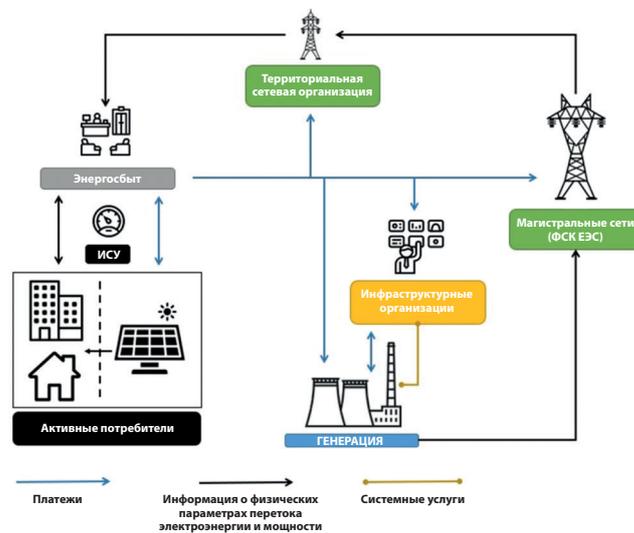
## 2. Обзор моделей активного потребителя

В исследовании [Parag, Sovacool, 2016] отмечается, что активные потребители имеют возможность принимать непосредственное участие в балансировке энергосистемы и оказании системных услуг посредством управления своей нагрузкой и (или) выдачи мощности в сеть.

Несмотря на то что текущие регламенты рынка и нормативно-правовая база большинства стран ориентированы преимущественно на существующую модель энергорынка, можно предложить ряд перспективных моделей взаимодействия, выгодных всем участникам торговли электроэнергией [Brown et al., 2019]. Эти модели отражают основные способы организации взаимодействия потребителей с энергокомпаниями и не являются исчерпывающими.

**1. Базовая модель активного потребителя.** В базовой модели на стороне потребителя до счетчика может располагаться источник электроэнергии или накопитель. Таким образом, потребитель может потреблять электроэнергию, произведенную принадлежащим ему генератором, и покупать ее из сети, если собственной энерговыработки недостаточно для покрытия потребления (например, если у потребителя установлен ВИЭ-генератор и погодные условия не благоприятствуют выработке). В случае отсутствия генерации или системы накопления потребитель имеет возможность изменить профиль нагрузки с учетом почасовых или зонных цен на электроэнергию.

Рис. 1. Базовая модель активного потребителя: принципиальная схема взаимодействия  
Fig. 1. The basic model of the active consumer: A schematic diagram of interaction



Источник: составлено автором.

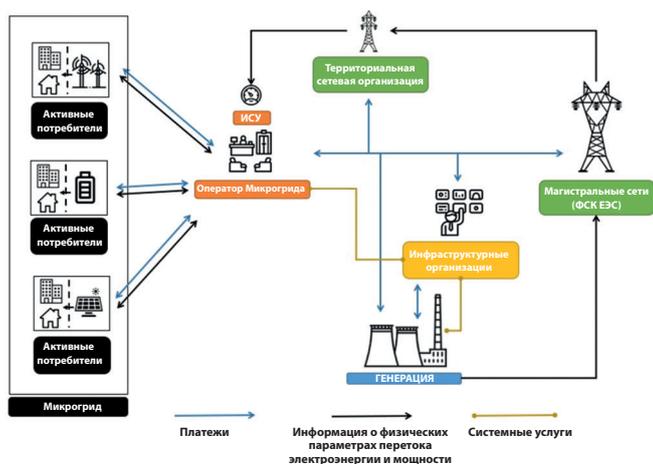
Важным аспектом базовой модели активного потребителя является организация как технологической, так и рыночной систем, обеспечивающая двунаправленный поток энергии и позволяющая активному потребителю выдавать избытки производимой мощности в сеть [Климовец, Зубакин, 2016]. Принципиальная схема взаимодействия субъектов рынка электроэнергии в базовой модели активного потребителя представлена на рис. 1.

В исследованиях [Управление спросом..., 2019; Brown, 2019] выделяется существенный недостаток такой модели, ставящий под сомнение ее жизнеспособность. Потребители на розничном рынке (а иногда и на оптовом) имеют относительно небольшой объем управляемой нагрузки, что делает взаимодействие с ними для инфраструктурных организаций невыгодным: транзакционные издержки существенно превышают теоретическую выгоду. Тем самым возможности принимать участие в активной торговле электроэнергией у данной модели ограничены.

**2. Активный энергокомплекс/микрогрид.** Эта концепция, представленная на рис. 2, основывается на конечных потребителях и розничных генераторах (в том числе генерирующих мощностях, находящихся у активных потребителей и/или систем накопления электроэнергии), связанных в низковольтную электросеть на территории микрогрида, принадлежащую оператору микрогрида. Учет электроэнергии ведется на границе активного энергокомплекса как сальдо выработанной и потребленной электроэнергии.

Долгое время концепция микрогрида представлялась применимой для электроснабжения изолированных районов, подключение которых к единой энергосистеме было бы экономически необоснованным. Однако эта концепция оказалась применима и в случае наличия подключения к единой энергосистеме в качестве модели активного потребителя [Local supply..., 2018].

Также микрогрид может быть дополнен понятием виртуальной электростанции / виртуальной энергокомпании. Такая компания может оказывать биллинговые услуги, а

Рис. 2. Микрогрид: принципиальная схема взаимодействия  
Fig. 2. Microgrid: A schematic diagram of interaction

Источник: составлено автором.

также выступать в роли оператора управления спросом, тем самым оказывая системные услуги [Local supply..., 2018]. Основываясь на системе интеллектуального учета, распределенной генерации и системах накопления электроэнергии, при помощи ценовых сигналов и разнообразных тарифных решений виртуальная энергокомпания способна снизить энергопотребление в часы пиковой нагрузки и оптимизировать энергопотребление во все часы суток для снижения итоговой стоимости электроэнергии для участников микрогрида.

В работе [Brown et al., 2020] выдвигается идея, что такие модели могут иметь максимальную эффективность для строящихся энергокластеров, так как затраты на установку системы интеллектуального учета, накопителей и распределенной генерации будут учтены на этапе проектирования.

Мировой опыт пилотных проектов микрогридов, внедренных для промышленных и коммерческих потребителей, демонстрирует снижение расходов на электроэнергию от 5 до 25% (в том числе за счет участия в программах по управлению спросом), снижение эмиссии CO<sub>2</sub> в атмосферу (что особенно важно для промышленных предприятий в эпоху повсеместной декарбонизации и внедрения принципов ESG), а также повышение надежности и качества электроснабжения. При этом отмечается, что итоговая доля снижения расходов на электроснабжение зависит от конфигурации конкретных участников микрогрида, потенциальных затрат на технологическое присоединение к сетям единой энергосистемы (или модернизации сетей для обеспечения больших перетоков мощности), а также от требований к надежности электроснабжения и экологичности<sup>17</sup>.

Необходимо отметить, что помимо названных эффектов внедрение микрогридов с наиболее широким функционалом позволяет участникам выступать в роли дополнительных источников гибкости энергосистемы и оказывать системные услуги, в том числе:

- участие в проектах по управлению спросом;
- участие в частотном регулировании;

- регулирование напряжения в энергосистеме;
- обеспечение резервов мощности (в том числе для потребителей за пределами микрогрида);
- компенсация реактивной мощности.

С целью апробации концепции микрогрида и дальнейшего развития данного направления в России с 2020 по 2023 год проводится пилотный проект по организации активных энергетических комплексов, регулируемый Постановлением Правительства РФ от 21.03.2020 № 320.

Активный энергетический комплекс (АЭК) – один из видов микрогрида, используемый для электроснабжения промышленных и коммерческих потребителей и объединяющий как генераторов, так и потребителей электрической энергии и мощности, вступающих в экономические отношения как внутри активного энергетического комплекса, так и с внешней относительно АЭК единой энергетической системой. Пилотный проект определяет АЭК как микрогрид, объединенный с ЕЭС, в состав которого входят генераторы с установленной мощностью до 25 МВт, не участвующие в торговле электроэнергией и мощностью на оптовом рынке, а потребители представлены коммерческими и промышленными предприятиями, а также деловыми и торговыми центрами. При этом баланс производства и потребления электроэнергии внутри АЭК и обеспечение перетоков мощности с единой энергетической системой в рамках разрешенной мощности осуществляется при помощи управляемого интеллектуального соединения.

Необходимо отметить, что помимо возможностей для энергокомпаний участвовать в проектах микрогридов в качестве их операторов распространение микрогридов открывает возможности для реализации бизнес-моделей, связанных с экспортом технологий и оказанием услуг по внедрению. Активное развитие коммерческих и промышленных микрогридов формирует для российских энергетических и технологических компаний окно возможностей по высокотехнологичному экспорту их решений<sup>18</sup>.

На текущий момент основными барьерами развития микрогридов и АЭК на российском рынке являются регуляторные барьеры, не позволяющие участникам розничного рынка свободно и прозрачно организовать энергетический обмен и совместное использование электросетевых мощностей.

Мировой опыт пилотирования микрогридов показывает, что залогом успеха на этом динамично развивающемся рынке является использование высокотехнологичных решений и инновационных бизнес-моделей как со стороны конечных потребителей электроэнергии, так и со стороны компаний – операторов микрогридов. Внедряемые микрогриды должны иметь возможность адаптироваться к условиям быстро меняющегося энергорынка, а также запросам потребителей. Таким образом, для создания эффективных на всем жизненном цикле микрогридов большое значение имеют следующие технологии:

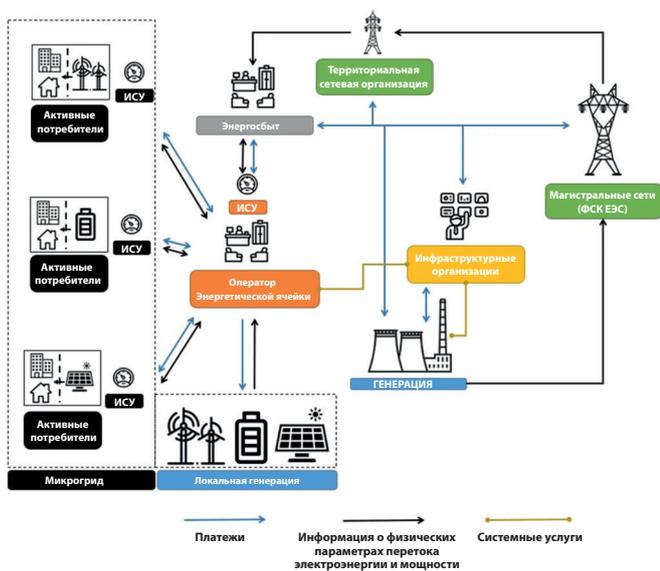
- источники энергии, диверсифицированные по типам генерации;
- системы накопления электроэнергии;

<sup>17</sup> Microgrids for commercial and industrial companies (2017). World Business Council for Sustainable Development.

Microgrid analysis and case studies report (2018). California Energy Commission.

<sup>18</sup> Активные энергетические комплексы... [https://drive.google.com/file/d/1PwyNYskwbaES\\_5oE3utFDDOnbucosZ0q/view](https://drive.google.com/file/d/1PwyNYskwbaES_5oE3utFDDOnbucosZ0q/view).

Рис. 3. Энергетическая ячейка: принципиальная схема взаимодействия  
Fig. 3. Energy cell: A schematic diagram of interaction



Источник: составлено автором.

- энергопринимающие устройства с возможностью управления нагрузкой;
- цифровые технологии интеграции и управления микрогридами (в том числе с использованием искусственного интеллекта), обеспечивающие plug&play присоединения участников микрогридов.

Таким образом, активные энергетические комплексы/микрогриды являются перспективными моделями активного потребителя на розничном рынке, имеющими высокий потенциал развития совместно с распространением технологий цифрового перехода в электроэнергетике.

3. *Энергетическая ячейка.* Концепция энергетической ячейки (или местной энергетической компании), принципиальная схема которой представлена на рис. 3, во многом схожа с концепцией микрогрида, однако в отличие от микрогрида в энергетическую ячейку также входит локальная распределенная генерация, соединенная с другими потребителями и микрогридами через сети территориальных сетевых организаций.

Так же, как и микрогриды, энергетические ячейки стремятся в первую очередь обеспечивать энергообмен между производителями и конечными потребителями внутри ячейки, при необходимости потребляя мощность из единой энергосистемы.

Концепция предполагает более эффективное взаимодействие активных потребителей с владельцами распределенной генерации, входящей в энергетическую ячейку, тем самым способствуя установлению более низких цен на электроэнергию.

При использовании цифровых управляющих технологий, а также интеллектуальных систем учета становится возможным применение динамического ценообразования, позволяющего оптимизировать загрузку генерирующих мощностей и объемы потребления внутри ячейки и приводящего к установлению экономически обоснованной цены на электроэнергию [Brown et al., 2019].

Пилотные проекты в Великобритании показали, что положительный экономический эффект от развертывания таких моделей достигается в первую очередь за счет снижения электросетевой составляющей в структуре цены на электроэнергию, оптимизации графика энергопотребления ячейки, продажи электроэнергии в часы пикового потребления в единой энергосистеме и участия в программах по управлению спросом.

В российских исследованиях понятие энергетической ячейки расширяется с самостоятельной концепции до участника более сложной инновационной модели взаимодействия – интернета энергии. При этом энергетическая ячейка является одним из ключевых элементов интернета энергии и может выступать в роли активного потребителя для соседних энергетических ячеек, тем самым осуществляя торговлю электроэнергией с ними [Архитектура..., 2021].

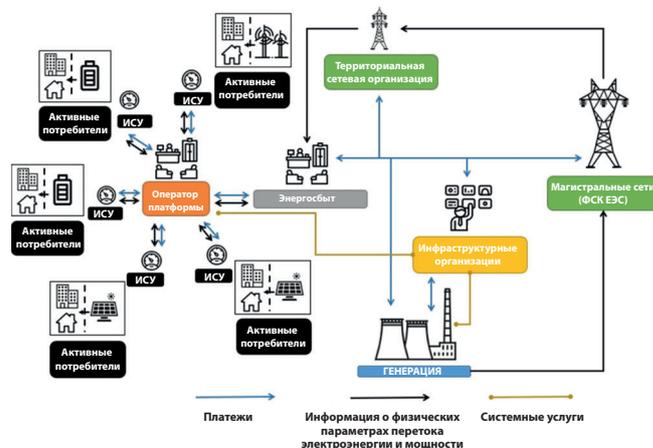
4. *P2P модель / интернет энергии.* Бизнес-модели реет-to-реет (рис. 4) строятся на устранении поставщика электроэнергии как посредника между активными потребителями. Эти модели используют стороннюю платформу, на которой потребители торгуют электроэнергией между собой. Перспектива данных моделей заключается в более справедливом ценообразовании, так как цена устанавливается на торгах между активными потребителями, а не определяется сторонним поставщиком. Если же генерирующих мощностей активных потребителей окажется недостаточно для балансировки участников платформы или же, наоборот, образуется избыток, электроэнергия может быть докуплена из централизованной энергосистемы или продана в нее [Brown et al., 2020; Архитектура..., 2021].

В российских исследованиях для обозначения P2P-модели чаще применяется формулировка «интернет энергии», хотя единого понимания термина до сих пор не сформировалось.

Несмотря на неоднозначность трактовок, в описании интернета энергии можно выделить общие положения:

- система реализуется на основе информационных технологий, обеспечивающих обмен информацией между участниками интернета энергии;

Рис. 4. P2P-модель: принципиальная схема взаимодействия  
Fig. 4. P2P model: A schematic diagram of interaction



Источник: составлено автором.

- система должна обеспечивать баланс производства и потребления электроэнергии среди активных потребителей, владеющих в том числе распределенной генерацией, генерацией на основе ВИЭ и системами накопления энергии;
- интернет энергии представляет собой киберфизическую систему, в которой информационные потоки направлены на установление оптимального режима работы системы и обеспечение надежного и качественного электроснабжения;
- для обеспечения двунаправленных потоков как электроэнергии, так и информации в интернете энергии используются цифровые датчики и актуаторы, обеспечивающие контроль и мониторинг состояния системы [Налбандян, Ховалова, 2018].

Таким образом, интернет энергии является, по сути, применением к энергосистемам концепции интернета вещей, представляющего собой группу приборов и устройств, подключенных к интеллектуальным вычислительным сетям, использующим собранные от устройств данные для активного управления ими. Применительно к электроэнергетике это могут быть как встроенные сенсоры, управляющие режимом работы турбин и интеллектуальных систем управления распределительными подстанциями, так и датчики и актуаторы, установленные на стороне потребителя и позволяющие в режиме реального времени управлять нагрузкой.

В качестве основных драйверов развития интернета энергии выступают потребности в интеграции распределенной генерации (в том числе стохастической генерации на основе ВИЭ) в энергосистемы, повышение требований к экологичности электроснабжения и рост популярности зеленых тарифов, ужесточение требований к надежности и качеству электроэнергии со стороны высокотехнологичных отраслей экономики [Vaer et al., 2002]. Так, в исследовании [Morley et al., 2018] прогнозируется рост энергопотребления цифровой инфраструктурой и прецизионными промышленными производствами на уровне 7% в год, при этом доля потребления цифровыми устройствами в пиковом энергопотреблении будет возрастать.

Также изменение характера потребления на розничном рынке стимулирует развитие интернета энергии: согласно прогнозу McKinsey & Company, внутрисуточная неравномерность графика энергопотребления домохозяйствами при широком распространении электромобилей вырастет на 30% по сравнению с текущим уровнем [Engel et al., 2018], что приведет к необходимости инвестиций в дополнительную мощность при условии незначительного увеличения в объемах потребляемой электроэнергии, что, в свою очередь, приведет к увеличению платы за мощность для конечных потребителей.

Эффекты от внедрения концепции интернета энергии включают в себя как эффекты, порождаемые моделями, рассмотренными ранее, так и уникальные, возникающие вследствие применения большего количества цифровых решений, чем в прочих моделях:

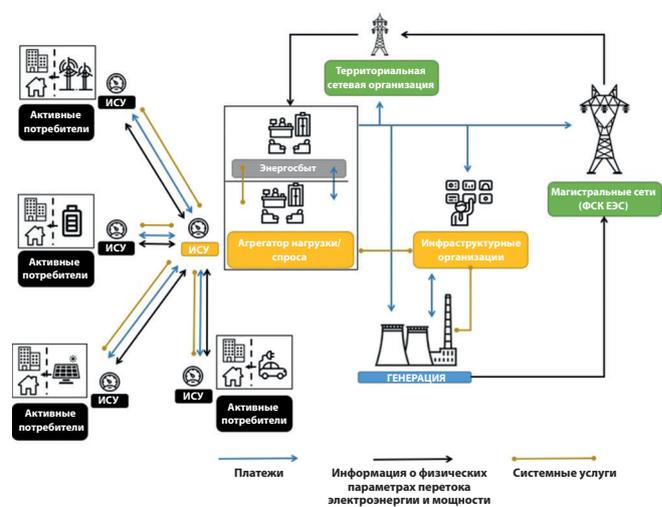
- сокращение инвестиций в генерирующие и электросетевые мощности благодаря более точному прогнозированию графика потребления;

- снижение потерь в сетях интернета энергии вследствие оптимизации маршрутов перетоков;
- наиболее эффективное участие в программах управления спросом за счет более глубокого анализа паттернов поведения конечных потребителей;
- наиболее эффективная интеграция распределенной и ВИЭ-генерации, так как цифровые технологии позволят оперативно реагировать на изменение выработки;
- снижение эксплуатационных расходов и повышение надежности электроснабжения вследствие предиктивной аналитики оборудования;
- создание уникальных ценностных предложений для конечных потребителей посредством сбора и обработки больших данных с устройств самих потребителей [Налбандян, Ховалова, 2018; Brown et al., 2020; Архитектура..., 2021].

Так же, как и в случае с микрогридами, развитие интернета энергии повышает внутренний спрос на высокотехнологичное оборудование, а также позволяет энергокомпаниям выступать в роли поставщиков решений на основе концепции интернета энергии как на внутреннем рынке, так и на внешнем.

5. *Агрегатор нагрузки.* В условиях распространения распределенной генерации и генерации на основе ВИЭ все более значимым становится понятие гибкости энергосистемы. Под гибкостью понимается способность энергосистемы поддерживать баланс мощности в условиях высокой волатильности мощности потребления и мощности генерации (особенно в случае высокого процента ВИЭ в энергосистеме), компенсируя возникающие небалансы источниками гибкости. В свою очередь, управление спросом может рассматриваться как один из источников гибкости энергосистемы [Управление спросом..., 2019; Brown et al., 2020]. Согласно оценкам, проведенным Центром стратегических разработок, порядка 30% мощности энергопринимающих устройств конечных потребителей может быть управляемой. Значительная часть этой мощности распределена среди потребителей розничного рынка и не может быть задействована вследствие высоких

Рис. 5. Карта рисков с новым технологическим уровнем  
Fig. 5. Risk map with a new technological level



Источник: составлено автором.

транзакционных издержек. Эту проблему позволяет преодолеть концепция агрегатора нагрузки – субъекта, продающего на оптовом рынке гибкость и формирующего эту гибкость за счет управления множеством небольших потребителей на розничном рынке. Принципиальная схема взаимодействия для модели агрегатора нагрузки представлена на рис. 5.

В России также реализуется пилотный проект по управлению спросом с использованием агрегаторов нагрузки: в 2019 году было утверждено Постановление Правительства Российской Федерации № 287, определяющее основы функционирования нового механизма управления спросом и вводящее понятие агрегатора управления спросом – организации, объединяющей ресурсы розничных потребителей для предоставления услуг по управлению спросом как нового вида услуг по обеспечению системной надежности.

В рамках пилотного проекта потребитель заключает договор оказания услуг по изменению потребления с агрегатором, агрегатор в свою очередь заключает договор оказания услуг по обеспечению системной надежности с АО «СО ЕЭС». Необходимость изменения нагрузки формирует АО «АТС» по результатам двойного модельного расчета РСВ (с разгрузкой и без), после чего системный оператор дает команду агрегатору снизить потребление на определенный объем мощности, а агрегатор распределяет данный объем среди потребителей, заключивших с ним договор. После подтверждения разгрузки производится оплата: АО «СО ЕЭС» оплачивает услуги агрегатора, а агрегатор – услуги потребителей.

Основные эффекты от внедрения программ управления спросом носят как долгосрочный, так и краткосрочный характер:

- снижение затрат на электроэнергию для конечных потребителей за счет более эффективного балансирования и установления равновесной цены на рынке на сутки вперед вследствие сдвига и сглаживания пиков потребления;
- замещение гибкой нагрузкой дорогих и неэффективных мощностей на оптовом рынке на среднесрочном горизонте;
- в долгосрочной перспективе снижение потребностей в инвестициях в новые генерирующие и сетевые мощности для покрытия пикового потребления [Управление спросом..., 2019].

В работе [Кузьмин, 2019] делается предположение, что для наиболее полного раскрытия потенциала концепции агрегатора нагрузки необходимо развитие интеллектуальных систем учета, позволяющих собирать данные об энергопотреблении и при помощи технологий искусственного интеллекта эффективно обрабатывать их. В исследовании [Управление спросом..., 2019] перечень технологий, необходимых для успешного функционирования агрегаторов, дополняется цифровыми транзакционными решениями и технологиями промышленного интернета вещей.

Большие данные, собранные ИСУ, позволяют проанализировать профили нагрузки большого массива пользователей и идентифицировать устройства с высоким потенциалом в рамках управления спросом.

Высокоточный сравнительный анализ участников управления спросом позволяет построить новые ценовые модели,

базирующиеся на определении цен для каждой группы потребителей, участвующих в управлении спросом, тем самым максимизируя их выгоду [Lin, Wang, 2011]. Стимулирующие программы управления спросом позволяют субъекту оперативно-диспетчерского управления вовлекать новых участников, а ИСУ, в свою очередь, значительно упрощает верификацию снижения нагрузки, что особенно актуально для контроля исполнения обязанностей по управлению спросом в частном секторе, так как не существует достаточно точных моделей для оценки потенциала управления спросом на стороне розничных потребителей [Bergman et al., 2011].

Таким образом, модель агрегатора спроса способна вовлечь потребителей, не имеющих своей собственной генерации, в активное участие в работе энергосистемы и не только снизить стоимость электроэнергии, но и заработать на оказании системных услуг.

### 3. Результаты исследования

Для верификации ранее обозначенных потенциальных эффектов от распространения моделей активных потребителей были проведены глубинные полуструктурированные интервью с семью представителями электроэнергетических компаний.

В качестве объекта проведения интервью были выбраны сотрудники электроэнергетических компаний – энергосбытовых, электросетевых и генерирующих. Каждый из респондентов занимает руководящую должность и имеет:

- научный интерес в области цифровых технологий в сфере электроэнергетики;
- непосредственное отношение к сфере инновационного развития в электроэнергетике.

По результатам анализа интервью были подтверждены и актуализированы эффекты от распространения моделей активного потребителя, а также разработана анкета для балльной оценки эффектов.

Для измерения выявленных эффектов от распространения моделей активного потребителя были сформулированы утверждения анкеты. Респондентам было предложено выбрать степень согласия с утверждениями, приведенными в анкете. Для измерения степени согласия была использована 7-балльная шкала Лайкерта, где 1 – «совершенно не согласен», 4 – «не знаю, согласен или не согласен», 7 – «полностью согласен». Вопросы анкет, а также средневзвешенные оценки экспертов с разбивкой по моделям активного потребителя представлены в табл. 4.

Проведенные интервью с последующим анкетированием показали, что наибольшим потенциалом обладают активный энергокомплекс/микросетевая, энергетическая ячейка, P2P-модель / интернет энергии, а также агрегатор нагрузки.

Базовая модель активного потребителя получила относительно низкие оценки экспертов ввиду сложности реализации такой модели на практике и высокого уровня ожидаемых транзакционных издержек при ее функционировании, что согласуется с теоретическим обзором.

P2P-модель / интернет энергии получила оценки ниже, чем микросетевая и энергетическая ячейка. Такая оценка может быть обусловлена высокой степенью неопределенности стоимости высокотехнологичных компонентов, необходимых

Таблица 4  
Средневзвешенные оценки эффектов с разбивкой по моделям активного потребителя  
Table 4  
Weighted average estimates of effects broken down by active consumer models

Эффект от распространения модели активного потребителя	Модель активного потребителя				
	Базовая модель активного потребителя	Активный энергокомплекс/ микрогрид	Энергетическая ячейка	P2P-модель / интернет энергии	Агрегатор нагрузки
Снижение затрат на приобретение электроэнергии для конечных потребителей	4,0	5,7	6,0	4,3	6,0
Снижение равновесной цены на РСВ за счет сдвига и сглаживания пиков потребления	4,0	6,0	5,0	4,3	6,7
Замещение гибкой нагрузкой дорогих и неэффективных мощностей на оптовом рынке на среднесрочном горизонте	4,7	6,0	6,0	5,7	6,7
Снижение потребностей в инвестициях в новые генерирующие мощности для покрытия пикового потребления в долгосрочной перспективе	3,0	4,7	5,0	4,7	5,7
Снижение потребностей в инвестициях в новые сетевые мощности для покрытия пикового потребления в долгосрочной перспективе	4,3	5,7	4,7	4,3	5,0
Снижение потерь в сетях вследствие оптимизации маршрутов перетоков	4,3	6,0	6,0	5,7	4,7
Снижение объемов технологических и коммерческих потерь в сетях низкого напряжения	3,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Наиболее эффективная интеграция распределенной и ВИЭ-генерации	4,7	5,0	4,7	3,7	2,0
Снижение эксплуатационных расходов и повышение надежности электроснабжения вследствие предиктивной аналитики оборудования	3,0	6,0	6,0	4,7	3,0
Повышение эффективности участия в программах управления спросом вследствие более глубокого анализа паттернов поведения конечных потребителей	5,0	6,0	6,0	6,0	5,3
Создание дополнительного поступления доходов компаний электроэнергетики за счет оказания системных и вспомогательных услуг	3,0	5,3	5,3	5,0	5,7
Создание дополнительного поступления доходов компаний электроэнергетики за счет коммерциализации больших данных об энергопотреблении	4,3	5,3	5,7	5,3	4,7
Повышение уровня экологичности энергосистемы и снижение долей выбросов CO <sub>2</sub>	4,3	6,0	6,0	5,7	6,3

Источник: составлено автором.

для реализации данной модели, что может негативно сказаться на достижении положительных эффектов от развертывания модели интернета энергии.

В ходе интервью часть экспертов обозначила схожесть моделей активного энергокомплекса/микрогрида и энергетической ячейки, при этом отметив, что различия между данными моделями обусловлены различиями нормативной правовой базы стран, на территории которых такие модели применяются. Также экспертами были отмечены потенциальные барьеры реализации моделей активного энергокомплекса/микрогрида, обусловленные недостаточно высокой ценой электроэнергии, приобретаемой из единой энергосистемы, для принятия потребителем решения о переходе на электроснабжение по модели микрогрида, а также возможным конфликтом интересов между владельцами предприятий и владельцами генерирующих мощностей, расположенных на территории активного энергокомплекса.

## Заключение

В работе представлены результаты анализа ключевых технологических трендов в электроэнергетике, а также моделей активного потребителя, появляющихся вследствие изменения характера взаимодействия между потребителями и энергокомпаниями из-за распространения новых технологий.

Обзор отечественной и зарубежной литературы позволил выявить основные эффекты от распространения распределенной генерации (в том числе с использованием возобновляемых источников энергии), систем накопления электроэнергии, интеллектуальных систем учета электроэнергии, а также цифровых технологий индустрии 4.0.

Данные технологии сами по себе обладают рядом эффектов: снижение затрат на покупку электроэнергии для конечного потребителя, снижение инвестиций в новые генерирующие и сетевые мощности, повышение надежности

и качества электроснабжения, снижение выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу. Помимо этого, указанные технологии расширяют спектр возможностей для взаимодействия потребителей и энергокомпаний, тем самым формируя новую категорию потребителя – активного потребителя.

Исследование инновационных моделей взаимодействия потребителей с энергокомпаниями показало, что существует множество способов вовлечения потребителя в активное участие в процессе производства, распределения и потребления электроэнергии. Каждая из моделей

обладает различными характеристиками, требованиями к технологиям, применяющимся в данной модели, и эффектами как для потребителей и энергокомпаний, так и для рыночной системы торговли электроэнергией и мощностью в целом.

В качестве дальнейшего направления исследования видится детальная проработка барьеров распространения моделей активного потребителя, обозначенных экспертами, а также исследование факторов успешности реализации этих моделей.

## Литература

1. *Архитектура Интернета энергии IDEA* (2021). М.: Инфраструктурный центр EnergyNet. <https://drive.google.com/file/d/13JM0N1Y4jUXOP6Mv4irjb2k77bKK60p-Q/view>.
2. Иванов А.В., Кучеров Ю.Н., Самков В.М., Корев Д.А. (2018). Развитие стандартизации интеллектуальных систем электроснабжения будущего. *Энергия единой сети*, 3(38): 81–84.
3. Климовец О.В., Зубакин В.А. (2016). Методы оценки эффективности инвестиций в собственную генерацию в условиях риска. *Эффективное антикризисное управление*, 2(95): 78–84.
4. Кузьмин П.С. (2019). Неинтрузивный мониторинг нагрузки: эффекты внедрения и перспективы распространения. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 10(4): 306–319. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-4-306-319>.
5. Кузьмин П.С. (2021). Интеллектуальные системы учета электроэнергии: эмпирический анализ факторов восприятия технологии. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 12(1): 8–23. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2021-1-8-23>.
6. Линдер Н.В., Трачук А.В. (2017). Влияние перекрестного субсидирования в электро- и теплоэнергетике на изменение поведения участников оптового и розничного рынков электро- и теплоэнергии. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 3: 78–86. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2017-3-78-86>.
7. Налбандян Г.Г., Ховалова Т.В. (2018). Концепция интернета энергии в России: драйверы и перспективы. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 3: 60–65. ISSN 2618-947X.
8. Налбандян Г.Г., Жолнерчик С.С. (2018). Ключевые факторы эффективного применения технологий распределенной генерации в промышленности. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 1: 80–87. DOI: <https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/755/635>.
9. *Применение систем накопления энергии в России: возможности и барьеры* (2019). М.: Инфраструктурный центр EnergyNet. <https://drive.google.com/file/d/1QraG6ghruRMyc9gcN3a0LNWUsnUonId3/view>.
10. Селляхова О., Тарновская О., Фатеева Е. и др. (2016). Виртуальная электростанция. *Энергорынок*, 2(137): 43–50.
11. Трачук А.В., Линдер Н.В. (2017). Перекрестное субсидирование в электроэнергетике: подходы к моделированию снижения его объемов. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 1(100). <https://cyberleninka.ru/article/n/perekrestnoe-subsidirovanie-v-elektroenergetike-podhody-k-modelirovaniyu-snizheniya-ego-obemov>.
12. Трачук А.В., Линдер Н.В. (2018). Технологии распределенной генерации: эмпирические оценки факторов применения. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 1: 32–48. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-1-32-48>.
13. *Управление спросом в электроэнергетике России: открывающиеся возможности* (2019). М.: Инфраструктурный центр EnergyNet. [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet\\_2019.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet_2019.pdf).
14. Ховалова Т.В., Жолнерчик С.С. (2018). Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей. *Стратегические решения и риск-менеджмент*, 2: 92–101. <https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/776/649>.
15. Хохлов А., Мельников Ю., Веселов Ф., Холкин Д., Дацко К. (2018). *Распределенная энергетика в России: потенциал развития*. М.: Сколково. [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_DER-3.0\\_2018.02.01.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf).
16. *Цифровой переход в электроэнергетике* (2017). М.: Центр стратегических разработок. <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoj-perehod-velektroenergetike-rossii/>.
17. Baer W.S., Hassel S., Vollaard B.A. (2002). *Electricity requirements for a digital society*. RAND Corporation. [https://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1617.html](https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1617.html).
18. Bergman D.C., Jin D., Juen J.P., Tanaka N., Gunter C.A., Wright A.K. (2011). Non-intrusive load shed verification. *IEEE Pervasive Computing*, 10(1): 49–57.
19. Brown D., Hall S., Davis M. (2019). Prosumers in the post subsidy era: An exploration of new prosumer business models in the UK. *Energy Policy*, 135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110984>.
20. Brown D., Hall S., Davis M. (2020). What is prosumerism for? Exploring the normative dimensions of decentralised energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101475>.
21. Engel H., Hensley R., Knupfer S., Sahdev S. (2018). *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-potential-impact-of-electric-vehicles-on-global-energy-systems#>.

22. Frankel D., Wagner A. (2017). *Battery storage: The next disruptive technology in the power sector*. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/businessfunctions/sustainability-and-resource-productivity/ourinsights/battery-storage-the-next-disruptive-technology-in-the-power-sector>.
23. Hansen C.J., Bower J. (2004). *An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies*. Oxford: Oxford Institute for Energy Studies.
24. *Harnessing artificial intelligence to accelerate the energy transition* (2021). World Economic Forum. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Harnessing\\_AI\\_to\\_accelerate\\_the\\_Energy\\_Transition\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_AI_to_accelerate_the_Energy_Transition_2021.pdf).
25. Lin C., Wang Z. (2011). *A new DSM energy-pricing model based on load monitoring system*. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce, AIMSEC: 3650–3653.
26. Morley J., Widdicks K., Hazas M. (2018). Digitalization, energy, and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption. *Energy Research & Social Science*, 38: 128–137.
27. Naghibi B., Deilami S. (2014). *Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management*. Australasian Universities Power Engineering Conference. DOI: <https://doi.org/10.1109/aupec.2014.6966647>.
28. Parag Y., Sovacool B.K. (2016). Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy*, 1: 16032. DOI: <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.32>.
29. *Local supply: Options for selling your energy locally* (2018). Regen. [https://www.regen.co.uk/wp-content/uploads/Local\\_Supply\\_Options\\_for\\_Selling\\_Your\\_Energy\\_Locally\\_Edition\\_2\\_2016.pdf](https://www.regen.co.uk/wp-content/uploads/Local_Supply_Options_for_Selling_Your_Energy_Locally_Edition_2_2016.pdf).
30. Wegner M.S., Hall S., Hardy J., Workman M. (2017). Valuing energy futures; a comparative analysis of value pools across UK energy system scenarios. *Applied Energy*, 206: 815–828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.200>.
31. Zoha A., Gluhak A., Imran M., Rajasegarar S. (2012). Nonintrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey. *Sensors*, 12: 16838–16866.

## References

1. *Architecture of the Internet of Energy IDEA* (2021). Moscow, EnergyNet Infrastructure Center. <https://drive.google.com/file/d/13JMN0IY4jUXOP6Mv4irjb2k77bK60p-Q/view>. (In Russ.)
2. Ivanov A.V., Kucherov Yu.N., Samkov V.M., Korev D.A. (2018). Development of standardization of intelligent power supply systems of the future. *Energy of the Unified Network*, 3(38): 81–84. (In Russ.)
3. Klimovets O.V., Zubakin V.A. (2016). Methods for assessing the effectiveness of investments in own generation in conditions of risk. *Effective Anti-Crisis Management*, 2(95): 78–84. (In Russ.)
4. Kuzmin P.S. (2019). Non-intrusive load monitoring: Implementation effects and distribution prospects. *Strategic Decisions and Risk Management*, 10(4): 306–319. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-4-306-319>. (In Russ.)
5. Kuzmin P.S. (2021). Smart metering systems: An empirical analysis of technology perception factors. *Strategic Decisions and Risk Management*, 12(1): 8–23. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2021-1-8-23>. (In Russ.)
6. Linder N., Trachuk A.V. (2017). The impact of cross-subsidization in electricity and heat energy on changing the behavior of participants in the wholesale and retail markets for electricity and heat. *Strategic Decisions and Risk Management*, 3: 78–86. DOI: <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2017-3-78-86>. (In Russ.)
7. Nalbandian G.G., Khovalova T.V. (2018). Concept of the Internet of Energy in Russia: Drivers and prospects. *Strategic Decisions and Risk Management*, 3: 60–65. ISSN 2618-947X. (In Russ.)
8. Nalbandyan G.G., Zholnerchik S.S. (2018). Key factors for the effective application of distributed generation technologies in industry. *Strategic Decisions and Risk Management*, 1: 80–87. DOI: <https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/755/635>. (In Russ.)
9. *Application of energy storage systems in Russia: Opportunities and barriers* (2019). Moscow, EnergyNet Infrastructure Center. <https://drive.google.com/file/d/1QraG6ghruRMyc9gcN3a0LNWUsnUonId3/view>. (In Russ.)
10. Sellyakhova O., Tarnovskaya O., Fateeva E. (2016). Virtual Power Plant. *Energy Market Magazine*, 2(137): 43–50. (In Russ.)
11. Trachuk A.V., Linder N.V. (2017). Cross-subsidization in the electric power industry: Approaches to modeling the reduction of its volumes. *Strategic Decisions and Risk Management* 1(100). <https://cyberleninka.ru/article/n/perekrestnoe-subsidirovanie-v-elektroenergetike-podhody-k-modelirovaniyu-snizheniya-ego-obemov>. (In Russ.)
12. Trachuk A.V., Linder N.V. (2018). Distributed generation technologies: empirical assessments of application factors. *Strategic Decisions and Risk Management*, 1: 32–48. DOI: <https://doi.org/10.17747/2078-8886-2018-1-32-48>. (In Russ.)
13. *Demand Response in the Russian electric power industry: Opening opportunities* (2019). Moscow, Infrastructure Center EnergyNet. [https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet\\_2019.pdf](https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/company/markets/dr/publication/EnergyNet_2019.pdf). (In Russ.)
14. Khovalova T.V., Zholnerchik S.S. (2018). Effects of the implementation of intelligent electric power grids. *Strategic Decisions and Risk Management*, 2: 92–101. <https://www.jsdrm.ru/jour/article/view/776/649>. (In Russ.)
15. Khokhlov A., Melnikov Y., Veselov F., Kholkin D., Datsko K. (2018). *Distributed energy in Russia: Development potential*. Moscow, Skolkovo. [https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_DER-3.0\\_2018.02.01.pdf](https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_DER-3.0_2018.02.01.pdf). (In Russ.)
16. *Digital transition in the electric power industry* (2017). Moscow, Center for Strategic Research. <https://www.csr.ru/issledovaniya/tsifrovoj-perehod-velektroenergetike-rossii/>. (In Russ.)

17. Baer W.S., Hassel S., Vollaard B.A. (2002). *Electricity requirements for a digital society*. RAND Corporation. [https://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1617.html](https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1617.html).
18. Bergman D.C., Jin D., Juen J.P., Tanaka N., Gunter C.A., Wright A.K. (2011). Non-intrusive load shed verification. *IEEE Pervasive Computing*, 10(1): 49-57.
19. Brown D., Hall S., Davis M. (2019). Prosumers in the post subsidy era: An exploration of new prosumer business models in the UK. *Energy Policy*, 135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110984>.
20. Brown D., Hall S., Davis M. (2020). What is prosumerism for? Exploring the normative dimensions of decentralised energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101475>.
21. Engel H., Hensley R., Knapfer S., Sahdev S. (2018). *The potential impact of electric vehicles on global energy systems*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-potential-impact-of-electric-vehicles-on-global-energysystems#>.
22. Frankel D., Wagner A. (2017). *Battery storage: The next disruptive technology in the power sector*. McKinsey. <https://www.mckinsey.com/businessfunctions/sustainability-and-resource-productivity/ourinsights/battery-storage-the-next-disruptive-technology-in-the-power-sector>.
23. Hansen C.J., Bower J. (2004). *An economic evaluation of small-scale distributed electricity generation technologies*. Oxford, Oxford Institute for Energy Studies.
24. *Harnessing artificial intelligence to accelerate the energy transition* (2021). World Economic Forum. [https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Harnessing\\_AI\\_to\\_accelerate\\_the\\_Energy\\_Transition\\_2021.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Harnessing_AI_to_accelerate_the_Energy_Transition_2021.pdf).
25. Lin C., Wang Z. (2011). *A new DSM energy-pricing model based on load monitoring system*. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Artificial Intelligence. Management Science and Electronic Commerce, AIMSEC: 3650-3653.
26. Morley J., Widdicks K., Hazas M. (2018). Digitalization, energy, and data demand: The impact of Internet traffic on overall and peak electricity consumption. *Energy Research & Social Science*, 38: 128-137.
27. Naghibi B., Deilami S. (2014). *Non-intrusive load monitoring and supplementary techniques for home energy management*. Australasian Universities Power Engineering Conference. DOI: <https://doi.org/10.1109/aupec.2014.6966647>.
28. Parag Y., Sovacool B.K. (2016). Electricity market design for the prosumer era. *Nature Energy*, 1: 16032. DOI: <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.32>.
29. *Local supply: Options for selling your energy locally* (2018). Regen. [https://www.regen.co.uk/wp-content/uploads/Local\\_Supply\\_Options\\_for\\_Selling\\_Your\\_Energy\\_Locally\\_Edition\\_2\\_2016.pdf](https://www.regen.co.uk/wp-content/uploads/Local_Supply_Options_for_Selling_Your_Energy_Locally_Edition_2_2016.pdf).
30. Wegner M.S., Hall S., Hardy J., Workman M. (2017). Valuing energy futures; a comparative analysis of value pools across UK energy system scenarios. *Applied Energy*, 206: 815-828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.200>.
31. Zoha A., Gluhak A., Imran M., Rajasegarar S. (2012). Nonintrusive load monitoring approaches for disaggregated energy sensing: A survey. *Sensors*, 12: 16838-16866.

## Информация об авторе

### Павел Сергеевич Кузьмин

Главный специалист отдела по управлению рисками, АО «Техснабэкспорт» (Москва, Россия). SPIN-код: 8042-4060, Author ID: 991705.

Область научных интересов: цифровая трансформация предприятий, стратегия и управление развитием компаний, формирование стратегии развития компаний.

[kuzminps.fa@yandex.ru](mailto:kuzminps.fa@yandex.ru)

## About the author

### Pavel S. Kuzmin

Chief specialist of the Risk Management Department, JSC TENEX (Moscow, Russia). SPIN-code: 8042-4060, Author ID: 991705.

Research interests: digital transformation, company development strategy and management, company development strategy formation.

[kuzminps.fa@yandex.ru](mailto:kuzminps.fa@yandex.ru)

**Статья поступила в редакцию 30.10.2021; после рецензирования 28.11.2021 принята к публикации 16.12.2021. Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**The article was submitted on 30.10.2021; revised on 28.11.2021 and accepted for publication on 16.12.2021. The authors read and approved the final version of the manuscript.**